

gewiesen sind, haben zu diesem Zweck nicht neue Organe erzeugt, sondern ihre Blätter dazu umgewandelt (metamorphosiert). Ebenso werden gewöhnliche Wurzeln bei Orchideen und anderen Epiphyten zu Klammerorganen, bei anderen Pflanzen zu fleischigen Reservestoffbehältern (Rüben usw.); seltener können Wurzeln auch zu Assimilations- und Atmungsorganen umgebildet werden.

So bildet die Metamorphose das ganz allgemeine Mittel der Pflanze, sich zu neuen Funktionen passende Organe aus vorhandenen zu schaffen.

Experimentelle Morphologie.

Solange man annahm, daß die lebenden Wesen durch innere, unerforschliche Gesetze gebildet seien, mußten die vorhandenen Formen als das gelten, was die Natur überhaupt hervorbringen könne, und man nahm an, daß mit den bestehenden Formen ihre Fähigkeit der Formbildung erschöpft sei. Dieser Standpunkt, der besonders dadurch gestützt zu sein schien, daß jede Pflanzenart wieder nur ihresgleichen erzeugte, wurde aber doch durch mancherlei Beobachtungen erschüttert. Man sah, daß infolge von äußeren Einflüssen zuweilen ganz neue Formen gebildet werden können, die unter gewöhnlichen Lebensbedingungen nicht auftreten. Zu solchen Formbildungen besonderer Art gehören z. B. die zahlreichen Gallenbildungen. Infolge von Verwundungen durch gewisse Insekten bilden die angegriffenen Pflanzen an Knospen, Blüten oder Blättern Gehäuse für die Larven der Insekten von auffallender und vielfach regelmäßiger Form, die sonst nicht entstehen würde. Solche Gallen zeigen aber Formen, die von denen der normalen Organe der betreffenden Pflanze ganz abweichen, und vielfach auch eine ganz andere Anatomie besitzen. Auch sonst beobachtet man im Pflanzenreich häufig Abweichungen von der normalen Form,

die man dann als pathologische, als Bildungsabweichungen, als Mißbildungen bezeichnet. Das beweist also, daß die Pflanzen unter den gewöhnlichen, sagen wir normalen Lebensbedingungen nicht ihre ganze Fähigkeit der Formbildung offenbaren, daß durch besondere äußere Einflüsse ihre innere Natur so verändert werden kann, daß diese Veränderung sich in ganz neuen Formbildungen offenbart. Um diesen Erscheinungen auf den Grund zu kommen, hat die neuere Botanik auch die Pflanze dem Experiment unterworfen. und wie dies besonders von Böcking, Goebel, Klebs u. a. geschehen ist, auf künstlichem Wege die merkwürdigsten Formenbildungen hervorgerufen. Die experimentelle Morphologie gibt aber auch darüber Auskunft, daß sogenannte normale Entwicklungsformen nicht Folge eines unabänderlichen, inneren Vermögens sind, sondern daß die Formbildung durch äußere Bedingungen geleitet werden kann. So ist z. B. die Bildung der primären Rundblätter von *Campanula rotundifolia* eine Folge geringer Beleuchtung, der meist die jungen Pflanzen in der Natur ausgesetzt sind. Kultiviert man die jungen Pflanzen dauernd unter dieser Bedingung, so machen sie lauter runde Blätter, ohne die unter normalen Bedingungen entstehenden schmalen Blätter am Stengel überhaupt zu erzeugen. Bemerkenswert ist, daß zuweilen ganz verschiedene äußere Bedingungen dieselbe Formbildung hervorrufen. Z. B. gehen die verzweigten Fäden von *Stigeoclonium* zur Bildung der Palmellaform (einzelne kugelige Zellen) über, sowohl bei Kultur in konzentrierter Nährlösung, wie auch nach Zusatz ganz geringer Mengen von Giften, z. B. Kupfersulfat, und endlich auch bei niedriger Temperatur. Es wirken also alle diese Bedingungen gleichsinnig auf das Protoplasma, um es zur Bildung der Palmellaform zu veranlassen.

Es ist eine ganze Reihe von Pflanzen bekannt, die meist im Wasser wachsen, aber imstande sind, auch auf dem Lande zu leben, indessen in beiden Fällen ganz verschiedene Blattformen

erzeugen, die Wasserformen haben einfacher geformte Blätter als die Landformen, zeigen häufig dabei eine stärkere Teilung in fadenförmigen Zipfel. Man glaubte daher früher, daß die Umgebung der Luft oder des Wassers die verschiedene Form der

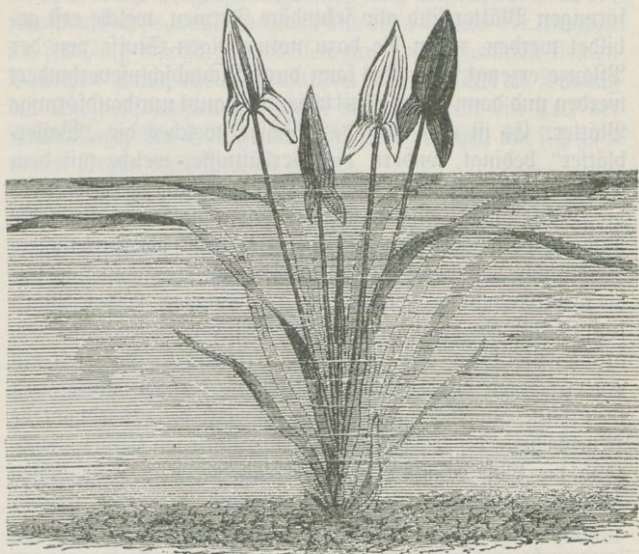


Fig. 28. *Sagittaria sagittifolia* mit Luft- und Wasserblättern.

Blätter verursache. Allein Versuche ergaben, daß die Wasserblätter auch in der Luft, die Luftblätter auch im Wasser entstehen. Die ersteren werden stets vom jugendlichen Sproß gebildet. Sie sind Jugendformen. Die Luftblätter sind die späteren Formen. Besonders bei *Sagittaria sagittifolia*, die sich in der Natur durch band-

förmige Wasserblätter und mit pfeilförmiger Spreite begabte Luftblätter auszeichnet, wurde von Goebel nachgewiesen, daß bei der Keimung und beim Austreiben der Überwinterungsknosse dieser Pflanze immer zuerst bandförmige Blätter entstehen, gleichgültig in welchem Medium die Entwicklung erfolgt. Die pfeilförmigen Blätter sind also sekundäre Formen, welche erst gebildet werden, wenn die dazu notwendigen Stoffe von der Pflanze erzeugt sind. Das kann durch Lichtabschluß verhindert werden und dann bildet *Sagittaria* überhaupt nur bandförmige Blätter. Es ist also nicht das Wasser, welches die „Wasserblätter“ bedingt, sondern die Verhältnisse, welche mit dem Wachstum in tieferem Wasser verbunden sind, zu denen auch der Lichtmangel gehört. Dieser Lichtmangel beeinflusst die Bildung von Baustoffen. Es ist also eigentlich die durch äußere Verhältnisse bewirkte Änderung des inneren Chemismus, welche die Formenbildung beeinflusst. Die Anlagen beider Blattformen sind ganz gleich, es ist also die Änderung der Bandform in die Pfeilform eine sekundäre Erscheinung, die auch mit einer anderen anatomischen Ausbildung der Luftblätter verknüpft ist. In diesen Fällen hat also erst die experimentelle Morphologie die verwickelte Sachlage klarlegen können, während die bloß beschreibende Morphologie, dem Augenschein folgend, zu falschen Deutungen gelangte.

Von besonderem Interesse für das Verständnis des Zusammenhanges von Formbildung und Stoffwechselvorgängen in der Pflanze sind die Knospenschuppen der Winterknospen. Während im Sommer eine Knospe nur Laubblätter anlegt, bilden sich gegen das Ende des Herbstes die ältesten, äußersten Blätter der Knospe zu braunen festen Schuppen um, die dem Schutze der ganzen Knospe dienen. Diese Schuppen werden als gewöhnliche Primordialblätter am Vegetationspunkt angelegt. Es bildet sich aber in der Folge ihre Blattspreite gar nicht aus, sondern nur der Blattgrund des jungen Blattes wächst

unter anatomischer Veränderung zur Knospenschuppe heran. Diese ist also gar kein ganzes Blatt, sondern nur der untere Teil der ursprünglichen Blattanlage. Zuweilen, z. B. beim *Thorn*, *Aesculus* u. a., ist die kleine Blattspreite zwar verkümmert, aber mit Vergrößerungslinsen noch deutlich am Ende der Knospenschuppe wahrzunehmen und beim Öffnen der Knospen im Frühling wächst sie zuweilen zum wohlgeformten kleinen Blättchen heran, ehe die Schuppen abfallen. Bei der Bildung der Knospenschuppen im Herbst wird also nur ein Teil der Blattanlage, der Blattgrund genügend ernährt, um sich zum neuen Organ ausbilden zu können.

Die meisten Pflanzen zeigen eine ausgesprochene Symmetrie ihres Aufbaues, die anscheinend einem unbekannten Gesetzungsgeetze ihre Entstehung verdankt, die aber nur aus den Existenzbedingungen der Pflanzen verstanden wird. Die Symmetrie ist wesentlich zunächst als Anpassung an die Verteilung der äußeren Lebensbedingungen aufzufassen, an die Verteilung der Nährstoffe, des Lichtes, der Schwerkraft. Die Symmetrie der Form ist mit der Entwicklung der Pflanzenwelt ausgebildet worden und kann darnach keine starre, unveränderliche sein, wie häufig gemeint wird. Auf Grund des Experimentierens mit den Formverhältnissen läßt sich erst die wahre Einsicht gewinnen. Besonders ausgeprägt ist die Symmetrie des Wuchses bei den Koniferen. Der senkrechte Hauptstamm ist mit wirteligen Seitenzweigen ganz regelmäßig versehen, die ebenso wie der Gipfeltrieb alljährlich sich um ein Stück verlängern, in gleichem Maße ihre Spitze weiterbauen und neue Seitentriebe ausbilden, so daß die Pyramide einer Fichte sich zwar vergrößert, aber ihre symmetrische Form nicht aufgibt. Es könnte nun den Anschein haben, daß diese Form selbstverständlich sei, da der senkrechte (orthotrope) Trieb eben nur senkrecht wachsen könne und die seitlichen (plagiotropen) Triebe zu ihrer Lage gezwungen seien. Versuche ergeben aber, daß

es sich hier nicht um absolute Formgesetze, sondern um Abhängigkeiten handelt, die veränderlich sind. Wenn bei einer Fichte oder auch bei anderen Koniferen der Gipfeltrieb zerstört wird, dann richtet sich meistens einer, selten mehrere der Seitentriebe, senkrecht auf und wächst als neuer Gipfel weiter. Das geschieht niemals, solange der Gipfeltrieb vorhanden war, woraus geschlossen werden muß, daß dieser die Lage der nächsten Seitenzweige beeinflusst. Eine solche gegenseitige Beeinflussung von Organen nennt man *Korrelation*, womit natürlich nur ein Begriff, keine Erklärung gegeben wird. Was die Korrelation eigentlich ist, wissen wir noch nicht. Ob stoffliche, chemische Wirkungen oder andere energetische Ursachen im Spiel sind, ist unbekannt.

Die experimentelle Morphologie kommt aber immer mehr dahinter, daß auch alle Formbildung bei der Pflanze nicht durch geheimnisvolle Kräfte, sondern durch die in der Natur herrschenden, der Wissenschaft mehr oder weniger bekannten Energieformen bestimmt wird. Und so ist denn auch die so überaus merkwürdige Formbildung der Metamorphose durch das Experiment verständlicher geworden als bei ihrer Entdeckung.

Nehmen wir als Beispiel die merkwürdige Bildung von Knollen bei verschiedenen Pflanzen; braucht eine Pflanze ein Speicherorgan für Reservestoffe, so bilden sie häufig aus mächtigen Gewebemassen aufgebaute Organe, die Raum für die Ablagerung der Stoffe bieten. Die Pflanze erzeugt solche Knollen durch Umwandlung von Sproßachsen, von Wurzeln oder von Knospen. Die Kartoffelknollen entstehen durch Anschwellung der Endknospen von in den Boden eindringenden Seitenprossen der Kartoffelpflanze (Ausläufern).

Nun entsteht die Frage, sind diese Ausläufer besondere, für die Knollenbildung vorher bestimmte Organe, oder ist ihre Metamorphose durch Ursachen bedingt und damit nach unserem Verstande erklärbar. Es sind besonders Böchtigs umfassende

Versuche, welche über die Knollenbildung überaus interessante Tatsachen zutage gefördert haben. Man könnte zunächst meinen, die Entstehung der Kartoffelknollen würde durch den Boden veranlaßt. Aber Boden ist ein ebenso inhaltsreicher

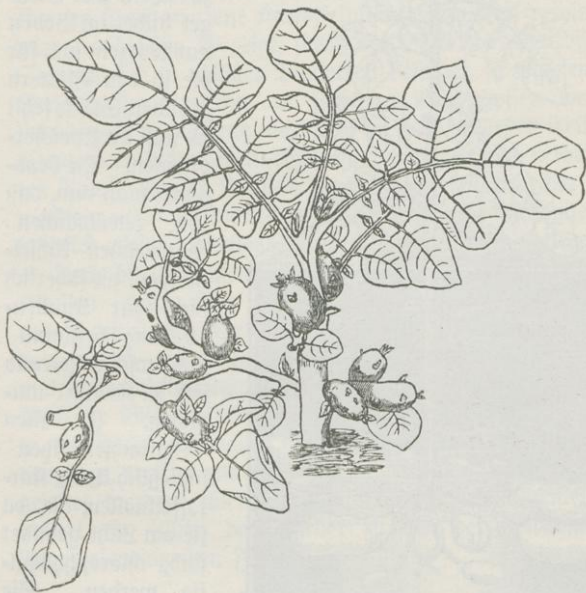


Fig. 29. Kartoffelpflanze mit zu Knollen gewordenen Achselknospen. (Nach Böcking.)

Begriff, wie das bei den „Wasserblättern“ zunächst als Ursache betrachtete Wasser. Daß die Ausläufer keine prädisponierten Sprosse für die Knollenbildung sind, hat Böcking durch folgenden Versuch nachgewiesen. Wenn man aus einer Kartoffelpflanze einen Steckling so schneidet, daß an dem in die Erde

kommanden Stengelende keine Knospen sitzen, die sich zu Ausläufern ausbilden könnten, so ist der Pflanze damit die Mög-

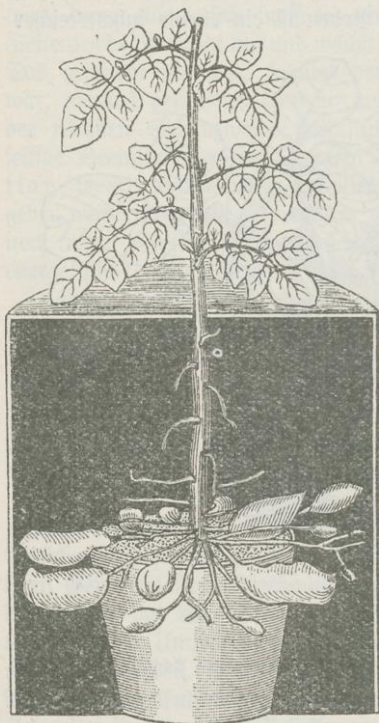


Fig. 30. Knollenbildung über dem Boden bei Verdunkelung. (Nach Bödting.)

lichkeit genommen, unterirdische Knollen zu bilden. Der Stengel bildet im Boden nur Wurzeln und für die in den Blättern gebildete Stärke fehlt es nun an Speicherorganen. Da beobachtet man nun, daß die gewöhnlichen oberirdischen Achselknospen, die sicherlich nicht zur Knollenbildung bestimmt sind, anschwellen und sich zu Knollen um-

bilden. In allen Blattachsen sitzen schließlich kleine Kartoffelknollen, die, da sie am Licht gebildet sind, chlorophyllhaltig werden. Sie haben sich gebildet, trotzdem die Pflanze vom Tageslicht getroffen wurde. Sie bleiben aber klein und

erzeugen kleine Blätter und es ist wesentlich das Licht, welches diese Knollen verhindert, zur normalen Form

und Größe heranzuwachsen. Daß in der That, abgesehen von inneren Ursachen, das Licht die Hauptursache ist, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen die Bildung von Knollen am oberirdischen Teil der Kartoffelpflanze unterdrückt, geht aus einem anderen Versuche Büchtings hervor. Wenn eine im Topf erzogene Kartoffelpflanze zum Teil verdunkelt wird, wie die Fig. 30 zeigt, sodaß ein Stück des oberirdischen Stengels sich in völliger Dunkelheit befindet, so wachsen die Seitenknospen, welche am Licht zu Blattprossen werden würden, zu Ausläufern aus. Die an dem untersten Teil des Stengels entstehenden Ausläufer bilden nun in dem verdunkelten Raum, obwohl sie nicht im Boden, sondern in der Luft wachsen, normale Knollen aus. Durch einfache Verdunkelung läßt sich also die Knollenbildung über den Boden verlegen.

Auch bei Begonienstecklingen bilden sich Achselprosse zu Knollen aus. Bei *Boussaingaultia* Baselloides gelang das merkwürdige Experiment, aus knospenlosen Internodien und aus Wurzeln Knollen zu erzeugen, die im normalen Entwicklungsgang der Pflanze gar nicht auftreten. Auch die Bildung der Blüten ist von äußeren Verhältnissen in der Weise abhängig, daß durch diese die Stoffwechselvorgänge, welche zur Blütenbildung führen, beeinflusst und geleitet werden. Werden solche Einflüsse experimentell reguliert, so führt das wieder zu von der gewöhnlichen Regel abweichenden Formen.

Regeneration.

Eine im ganzen Pflanzenreich zu beobachtende Erscheinung ist die Fähigkeit der Pflanzen, in Verlust geratene Teile zu ersetzen und dadurch wieder zu einem vollständigen Individuum zu werden. Diese Fähigkeit ist zwar auch im Tierreich vorhanden, aber doch nur bei niederen Tieren zu beobachten, bei Polypen, Würmern und anderen. Höhere Tiere ersetzen